

Таблица 6 – Распределение скоростей капель на входе в сепаратор  $W$ , м/с  
(тип форсунок УЦ)

W	Высота	Ширина									
		3,01	2,65	2,77	2,63	2,59	2,77	2,64	2,77	2,61	2,72
		2,76	2,60	2,68	2,56	2,54	2,67	2,59	2,67	2,64	2,59
		2,66	2,53	2,65	2,51	2,51	2,65	2,52	2,65	2,53	2,55
		2,58	2,52	2,97	2,50	2,50	2,97	2,56	2,97	2,65	2,54
		2,69	3,11	2,76	2,92	3,06	2,79	3,11	2,73	2,98	2,54

Полученные результаты свидетельствуют о существенной неравномерности распределения характеристик газокapельного потока по входному сечению сепаратора.

На основании полученных результатов предоставляется возможность определить начальные условия движения капельной влаги на сепаратор, необходимые для осуществления второго этапа решения задачи, связанной с установлением эффективности сепаратора соответствующей геометрии.

1.Пажи Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыливания жидкостей. – М.: Химия, 1984. – 328 с.

2.Головков Л.Г. Распределение капель по размерам при распыливании жидкости центробежными форсунками // Инженерно-физический журнал. – 1964. – №11. – С. 55–61.

3.Бородин В.А., Дитякин Ю.Ф., Клячко Л.А. Распыливание жидкостей. – М.: Машиностроение, 1967. – 263 с.

4.Раушенбах Б.В., Белый С.А., Беспалый И.В. Физические основы рабочего процесса в камерах сгорания воздушно-реактивных двигателей. – М.: Машиностроение, 1964. – 526 с.

5.Братута Э.Г. Диагностика капельных потоков при внешних воздействиях. – Харьков: Вища шк., 1987. – 144 с.

6.Братута Э.Г., Переселков А.Р. Обобщенная функция распределения объема капель по размерам // Изв. вузов. Энергетика. – 1978. – №3. – С.86-90.

Получено 23.03.2007

УДК 658.24

А.А.АЛЕКСАХИН, канд. техн. наук, И.Л.ДЕРКАЧ, Б.В.МИРОШНИЧЕНКО  
Харьковская национальная академия городского хозяйства

## РАСЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ПО ДЛИНЕ ОБРАТНОГО ТРУБОПРОВОДА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Получено решение дифференциального уравнения, описывающего тепловой режим в обратном трубопроводе тепловых сетей при линейном изменении расхода теплоносителя для двух случаев задания изменения по длине температуры теплоносителя на входе в трубопровод из ответвлений к зданиям. Выполнено сравнение результатов расчетов.

Поскольку микрорайонные тепловые сети характеризуются боль-

шой протяженностью, потери теплоты трубопроводами, даже на уровне нормативных значений, приводят к заметному охлаждению теплоносителя. При существующих схемах построения систем теплоснабжения с расположением на теплораспределительных станциях (ТРС) двухступенчатых водонагревательных установок горячего водоснабжения [1, 2] изменение температуры в обратном трубопроводе обусловливает изменение расхода греющего теплоносителя, производительности ступеней и потерь давления в теплообменниках установки. При известных характеристиках и конфигурации тепловых сетей расчет температуры теплоносителя по длине трубопроводов можно выполнить по известной методике, изложенной, например, в [3]. Формула, удобная для выполнения оценок охлаждения теплоносителя в подающем трубопроводе на начальных этапах проектирования, когда конфигурация тепловых сетей еще не детализирована, приведена в [4].

Целью данной работы является получение расчетной зависимости для нахождения температуры теплоносителя в сечениях по длине обратного трубопровода теплосетей. Как и в [4], зависимость получена в предположении монотонного изменения расхода среды и диаметра по длине трубопровода. Считая, что присоединение расхода происходит под углом  $90^\circ$ , расход в произвольном сечении, находящемся на расстоянии  $X_1$  от его начала, в общем случае может быть выражен либо предложенной в [5] зависимостью (1), либо линейным законом (2).

$$G = G_n (X_1 / L)^n + G_{mp}, \quad (1)$$

$$G = G_{mp} + \alpha \cdot G_n \cdot \frac{X_1}{L}, \quad (2)$$

где  $G_n$  – общий расход через ответвления;  $L$  – длина трубопровода на главном направлении;  $G_{mp}$  – «транзитный» расход, т.е. расход в начальном сечении обратного трубопровода (начало принято в точке присоединения наиболее удаленного на ветви потребителя теплоты).

Показатель степени  $n$  характеризует изменение притока вдоль трубы. Для случая равномерного притока при  $n = 1$  и  $\alpha = 1$  формулы (1) и (2) совпадают. В дальнейшем использована зависимость (2).

Баланс теплоты для элементарного участка обратного трубопровода имеет вид

$$(G + dG) [t_2(X_1) + dt_2] + Q_2 / C = G \cdot t_2(X_1) + dG \cdot \tau_2(X_1), \quad (3)$$

где  $C$  – удельная теплоемкость теплоносителя;  $\tau_2(X_1)$  – температура

теплоносителя на входе в трубопровод из ответвлений.

Потери теплоты на участке трубопровода длиной  $dX$  определены зависимостью

$$Q_2 = \frac{q'_2 [t_2(X_1) - t_{окр}] \cdot \beta}{\Delta t_2} \cdot dX_1, \quad (4)$$

где  $q'_2$  – табличное или экспериментальное значение линейных теплотопотерь, полученное для разности температур теплоносителя и окружающей среды  $\Delta t_2$ ;  $\beta$  – коэффициент, учитывающий потери теплоты в конструктивных элементах трубопровода [3];  $t_{окр}$  – фактическая температура окружающей среды для данных условий прокладки сетей [3].

Решение получаемого после преобразований (2) дифференциального уравнения можно выполнить в предположении, что приток массы происходит либо с постоянной по длине трубопровода температурой либо с переменной. Первый случай соответствует условиям, при которых теплоноситель на выходе отопительных комплексов присоединенных к сети зданий имеет температуру, равную ее значению на входе в обратный трубопровод  $\tau_{02}$ . Решение дифференциального уравнения для этого случая при граничных условиях  $t_2(X_1=0) = \tau_{02}$  имеет вид:

$$t_2(X_1) = \frac{\tau_{02} + B \left[ t_{окр} + (\tau_{02} - t_{окр}) \left( 1 + \frac{G_n \cdot \alpha \cdot X_1}{G_{mp} \cdot L} \right)^{-(1+B)} \right]}{1 + B}, \quad (5)$$

$$B = B' / \Delta t_2 = q'_2 \cdot L \cdot \beta / (\Delta t_2 \cdot C \cdot G_n).$$

Во втором случае температура теплоносителя на входе в обратный трубопровод из ответвлений к зданиям изменяется по длине. Приняв это изменение линейным, распределение температур можно описать по значениям в двух точках магистрали

$$\tau_2(X_1) = \tau_{02} + \frac{\Delta \tau_2}{L_1} \cdot X_1, \quad (6)$$

где  $\Delta \tau_2 = \tau_{21} - \tau_{02}$ ;  $\tau_{21}$  – температура теплоносителя на входе в трубопровод магистрали из ответвления, удаленного на расстояние  $L_1$  от начала координат (рис.1).

Решение дифференциального уравнения для этого случая имеет вид:

$$t_2(X_1) = \frac{\frac{X_1}{L} \left( 0,5 \cdot \Delta\tau_2 \cdot \frac{X_1}{L_1} + \tau_{02} - \frac{B'}{\alpha} \right) + \tau_{02} \cdot \frac{G_{mp}}{G_n \cdot \alpha}}{\frac{G_{mp}}{G_n \cdot \alpha} + \frac{X_1}{L}}. \quad (7)$$

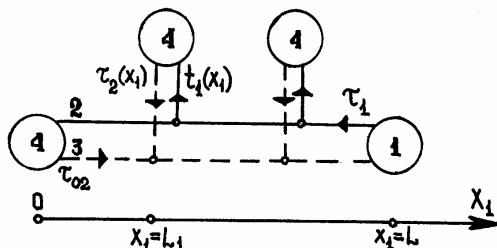


Рис.1 – Расчетная схема квартальной теплосети:

1 – теплораспределительная станция; 2, 3 – подающий и обратный трубопровод соответственно; 4 – отопительный комплекс здания.

Изменение температуры по длине трубопровода сети отопления, приведенного в [4] фрагмента жилого микрорайона показано на рис.2.

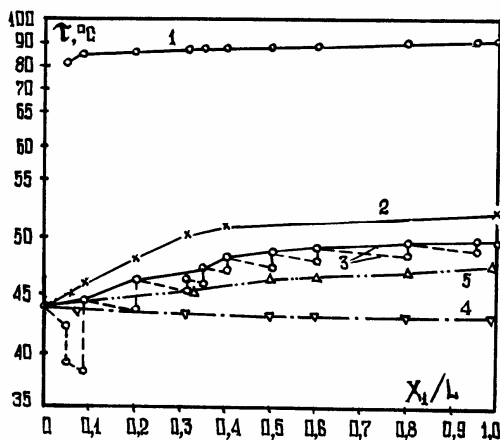


Рис.2 – Изменение температуры теплоносителя по длине трубопровода ветви (1–10) [4]: 1 – подающий трубопровод; 2 – температура на выходе отопительных комплексов зданий; 3–5 – обратный трубопровод: 3 – на участках (расчет по формулам (8)–(10), 4 – расчет по формуле (5), 5 – расчет по формуле (7).

Пунктирной линией показана температурная кривая, полученная по расчетам изменения температуры в пределах каждого из расчетных участков главной ветви. Расчеты выполнены по формулам (8), (9) при условиях, что температура окружающей среды составляет 5°C, а линейные теплотери соответствуют нормативным для прокладки в непроходных каналах при температуре теплоносителя 50°C. Температура в конце каждого из расчетных участков главного направления ветви до точки смешения с теплоносителем из ответвления найдена по формуле

$$\tau_M'' = \tau_i' - Q_{2,i} / (C \cdot G_i), \quad (8)$$

где  $\tau_i'$  – температура теплоносителя на входе в расчетный участок;  $Q_{2,i}$  – теплотери на участке;  $G_i$  – расход теплоносителя на рассматриваемом участке.

Температура в конце расчетного участка после слияния потоков теплоносителя в трубопроводе главного направления и из ответвления найдена из условия смешения потоков

$$\tau_i'' = [\tau_2(x_1) \cdot G_{oi} + \tau_M'' \cdot G_i] / (G_{oi} + G_i), \quad (9)$$

где  $G_{oi}$  – расход теплоносителя через ответвление.

Температура на выходе каждого из ответвлений  $\tau_{02,i}$  найдена из соотношения (10), справедливого для водяных тепловых сетей при качественном регулировании отпуска теплоты

$$\tau_2(X_1) = t_1(X_1) - \bar{Q}_0 \cdot \Delta\tau_c^p, \quad (10)$$

где  $\bar{Q}_0$  – относительная отопительная нагрузка;  $\Delta\tau_c^p = \tau_1^p - \tau_2^p$  – перепад температур в тепловой сети при расчетной для отопления температуре наружного воздуха.

Температура теплоносителя в подающем трубопроводе в точке присоединения ответвления  $t_1(X)$  найдена в соответствии с [4].

Как видно из рис.2, температурная кривая, полученная с помощью формул (8)-(10), характеризуется скачкообразным изменением температуры в точках присоединения ответвлений. Поведение кривой определяется величиной теплотери на участке и соотношением теплосодержаний смешивающихся потоков. В рассматриваемом случае отмечается тенденция роста температуры по длине обратного трубопровода в направлении от наиболее удаленного до ближайшего к ТРС

сечения. Это объясняется тем, что температура в подающем трубопроводе при  $X_1 / L \rightarrow 1$  растёт и соответственно растёт температура теплоносителя на выходе отопительных комплексов зданий (кривая 2) и, следовательно, в сечениях обратного трубопровода наблюдается общий рост температуры в направлении к ТРС.

Для сравнения на рис.2 приведены температурные кривые, рассчитанные по формулам (5) и (7). Величина  $B$  вычислена как среднеинтегральная по значениям предварительно найденных для каждого из расчетных участков удельных теплотерь, которые приняты такими же, как при вычислениях по (8). Расчеты выполнены при значении коэффициента в формуле (2)  $\alpha = 0,67$ , полученного как среднеинтегральное локальных значений для участков ветви.

Как видно из приведенных графиков, решение, полученное в предположении постоянства по длине теплопровода температуры теплоносителя на выходе из ответвлений даёт худшее приближение к расчетной температурной линии 3 (усредненное по длине ветви расхождение составило около 11%). Использование зависимости (7) при условии  $L_1 = L$  позволило снизить погрешность примерно до 4,5%.

Уменьшение длины расчетного участка на ветви до  $L_1 / L = 0,604$  привело к уменьшению расхождения до 2,5%.

Как показали расчеты, при определении температуры в обратном трубопроводе при отсутствии информации о характере распределения расхода по длине ветви допустимо предположение  $\alpha = 1$ . В выполненных расчетах расхождение для случаев  $\alpha = 1$  и фактического значения  $\alpha = 0,67$  составило менее 1%.

Таким образом, предложенная формула позволяет на начальных этапах проектирования микрорайонных систем теплоснабжения, принимая характер притока массы равномерным по длине, находить температуру теплоносителя в сечениях обратного трубопровода тепловых сетей.

Расчетная зависимость, полученная в предположении линейного закона изменения температуры на выходе из ответвления в обратный теплопровод, обеспечивает лучшее приближение к фактическому распределению температур.

1.Зингер Н.М., Тарадай А.М., Бармина Л.С. Пластинчатые теплообменники в системах теплоснабжения. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 256 с.

2.Шубин Е.П. Основные вопросы проектирования систем теплоснабжения городов. – М.: Энергия, 1979. – 360 с.

3.Тепловая изоляция: Справочник проектировщика / Под ред. Г.Ф.Кузнецова. –

М.: Стройиздат, 1985. – 421 с.

4.Алексахин А.А. Определение охлаждения теплоносителя в трубопроводах тепловых сетей // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.74. – К.: Техніка, – С.349-355.

5.Справочник по гидравлике / Под ред. Б.А.Большакова. – К.: Вища школа, 1984. – 343 с.

Получено 08.02.2007

УДК 681.518

А.А.МИРОШНИЧЕНКО

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

### **МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ, ОСНОВАННЫЙ НА СИНГУЛЯРНО-СПЕКТРАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ СВЯЗАННОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ**

Рассматриваются проблемы управления качеством теплоснабжения. Предлагается создание автоматизированной системы мониторинга качества теплоснабжения на основе анализа связанного потребления энергоресурсов с учетом структурных изменений временных рядов данных о потреблении.

Существует множество проблем теплового и электроэнергетического обеспечения городов. Для их решения многими авторами [1-7] предлагаются различные концепции, теории и методики.

Среди изучаемых проблем следует выделить следующие: исследование потребления тепловой и электрической энергии большими жилыми массивами, исследование особенностей энергоснабжения городов в условиях дефицита энергоресурсов, исследование потребления электроэнергии коммунально-бытовым сектором, повышение эффективности централизованного теплоснабжения.

Поиск оптимальных режимов отпуска тепла жилым массивам приводит к необходимости разработки новой структуры связей между объектом управления, управляющим процессом и средствами контроля, при которой обеспечивается протекание технологического процесса с заданными технико-экономическими показателями и гарантирует заданный уровень качества теплоснабжения.

Как отмечается в [3], тепловая нагрузка абонентов не является величиной постоянной. Она изменяется в зависимости от погодных условий (температуры наружного воздуха, ветра, влажности воздуха и т.д.), режима горячего водоснабжения и других факторов. И для обеспечения теплоснабжения высокого качества, а также экономичных режимов выработки и транспортировки теплоты выбирается соответствующий метод регулирования, а именно: центральное, групповое, местное и индивидуальное регулирование (в зависимости от пункта